

氏 名	三毛 正仁
学 位 の 種 類	博士（工学）
授与報告番号	(甲)第 3403 号
学位授与年月日	平成 26 年 9 月 30 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項
学 位 論 文 名	下水管路網を活用した下水熱利用システムの省エネルギー効果及び熱需給からみた導入可能性に関する研究
論文審査委員	主 査 准教授 西岡 真稔 副 査 教 授 西村 伸也 副 査 教 授 梅宮 典子 副 査 教 授 貫上 佳則

論 文 内 容 の 要 旨

低炭素社会を構築するために、都市の未利用熱の活用が期待されており、国の施策においても柱の一つとして取りあげられている。下水熱は未利用熱の一つであるが、従来の下水熱利用では、下水処理場など都市内に点在するごく限られた拠点施設から採熱されており、熱利用の機会は施設近傍のエリアに限られていた。これに対し本研究では、これまで検討されたことの無かった下水管路網から採熱する方法に着目して、省エネルギー効果と熱需給からみた導入可能性を検討した。都市内に広がる下水管路網から採熱することが可能となれば、熱利用可能なエリアが飛躍的に増大すると期待される。

本論文を構成する各章の要旨は、以下の通りである。

第 1 章では、国内外における下水熱利用の動向から、我が国において下水熱利用システムの普及を進めるための課題を示した。

第 2 章では、大阪市の下水管路において 12 処理区のうち 3 処理区を対象に、約 1 年に渡り下水流量と温度の実測を行った。その結果、月別日平均下水流量は、年間平均流量に対して $\pm 10\%$ と年間を通じてほぼ一定であることと、各時刻の下水温度は日平均下水温度を基準として $-2\sim +1^{\circ}\text{C}$ の範囲内であり温度変化が小さいことを示した。

第 3 章では、新たな下水流量の推定手法として、建物延床面積比率分配法を提案した。この手法は、地理情報システムを用いて、下水上流端から下流端の下水処理場までの配管経路と流れ方向に基づいて集水域を設定し、集水域内の建物延床面積の比率をもとに下水流量を按分する手法である。既往研究として、集水域毎の建物用途別に上水消費量原単位を単純に積上げる方法があるが、その推定値は実測値に対して 0.6~11 倍と誤差が大きかった。これに対し、本研究の推定法では、実測値に対し 12 地点中 9 地点で 0.7~1.1 倍であり精度が大幅に向上することを示した。

第 4 章では、後述の第 5 章で用いる給湯システムシミュレーションの方法を詳述した。また、シミュレーションと実環境における運転結果を比較し、省エネルギー性能の指標である成績係数 (COP) に関するシミュレーションと実測との差が小さいことを確認した。さらに導入効果の検討として、15 世帯相当の住宅の給湯負荷 (30kW) を賄う場合について、下水熱利用システムと、ガスボイラシステムおよび空冷式ヒートポンプシステムを用いる場合とを比較した。その結果、下水熱利用システムの一次エネルギー消費量は、ガスボイラシステムに対し 19%、空冷式ヒートポンプシステムに対し 11%の削減効果が見込まれることを示した。

第 5 章では、都市部の広域的な範囲で導入可能性を検討する事例として、大阪市全域について下水流量と温度を推定し、下水熱ポテンシャルを求めた。これと建物側の給湯熱需要量とを対比させて熱需給マップを作成した。給湯需要の大きい 3 用途の施設 (医療、宿泊、商業) を対象に検討を行った結果、中規模の給湯熱需要にあたる 120kW 以上を下水熱によって賄える施設が 21 施設あり、大阪市全域の給湯熱需要量の 6%に相当することを明らかにした。

最後の第 6 章では、各章の研究結果を総括した。

論文審査の結果の要旨

本研究は都市の低炭素化技術である未利用熱の活用に関する研究であり、下水熱を給湯・暖房用熱源として活用することを目的としている。従来、日本における下水熱利用は、地域熱供給プラントを下水処理場やポンプ場に隣接して建設する形態であり、下水熱の利用先は処理場内やその近傍に限定されていた。これに対し、本研究では都市インフラとしてネットワークを構成している下水管路から採熱することにより、下水熱利用の機会を拡大することを目指しており、研究成果として下水熱利用給湯システムの省エネルギー効果を示すとともに下水管路の熱賦存量を推定する方法を提案している。

本研究の第一の成果として、大阪の市街地において管路を流れる下水の温度と流量の実態を把握すべく、市内7地点のマンホールにおいて1年に渡り実測を行っている。管路内の下水の温度および流量を測定した研究報告は極めて乏しく、本研究によって大阪市内の下水の温度と流量に関する詳細な実態が明らかにされている。

第二の成果として、地理情報システム (GIS) を用いて、下水の排出源である集水域内の建物情報と、集水域の処理を受け持つ下水管路とを関係づけて分析することにより、管路に沿う任意地点の下水の温度と流量を推定する方法を提案している。さらに、大阪市の地理情報から作成した推定値を実測値と比較し、推定精度を検証した結果、既往の研究と比べて推定精度が大きく向上したことを示している。

第三の成果として、下水熱利用給湯システムに用いる設備機器の性能近似式を作成し、給湯設備のシステムシミュレーションを行っている。その結果、下水熱利用システムの年間一次エネルギー消費量はガスボイラシステムに対し19%、空冷式ヒートポンプシステムに対し11%削減され、省エネルギー性に優れていることを確認している。

第四の成果として、下水温度と流量推定結果を用いて、大阪市域の下水熱賦存量マップをまとめている。また、システムシミュレーションを併用して給湯用に供給可能な熱量を推定することにより、地域熱供給事業法の適用対象となる加熱能力 21GJ/時以上の熱を供給可能な管路が大阪市内で約100km 存在することを明らかにしている。

以上のように、実測した下水温度と流量に基づいて下水熱賦存量を推定し、下水管路網を活用した下水熱利用システムの有用性を明らかにした本研究の成果は、都市の低炭素化に向けた下水熱利用の普及とともに都市環境工学の発展に寄与するところが大い。

よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格を有するものと認める。